

DECISION SUPPORT PRINCIPLES FOR MANAGING THE QUALITY OF SERVICES IN THE CORPORATE MULTISERVICE NETWORK OF INLAND WATERWAY BASIN ADMINISTRATIONS

V. V. Karetnikov¹, N. S. Ageeva², A. A. Privalov³

¹ — Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

² — Military Telecommunications Academy, St. Petersburg, Russian Federation

³ — Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University,
St. Petersburg, Russian Federation

Proposals for modifications of operational decision support methods for service quality management in the corporate multiservice communication network of the Volga-Balt Administration (Federal Budgetary Institution) have been developed. This multiservice network is based on the Next Generation Network. Such networks have a single hierarchical automated management system, the task of which is to ensure the sustainable functioning of both the administrative management bodies of the Volga-Balt Administration of various levels of the administrative hierarchy, and providing technological management of automated technical means for ensuring safe navigation. The features of the communication network of the Volga-Balt Administration are a large spatial scope, a large number of heterogeneous subscribers who need various communication services with given characteristics, as well as high dynamics of changing their condition. The automated network management system in these operating conditions must maintain the required quality of communication services. Thus, the relevance of the work is determined by the need to implement network management processes in a mode close to the real-time mode with a given quality, in conditions of dynamic change in the performance parameters and state of network elements. The basis of the proposed principles for supporting management decisions is the concept of the use of intelligent agents. In the developed approach, intelligent agents are functionally hierarchical fuzzy situational networks in which solutions, unlike methods based on the application of reference situations, are developed based on the results of solutions of the hierarchical system of optimization problems based on fuzzy mathematical programming methods. Coordination and adjustment of solutions of the optimization tasks system is carried out on the basis of the Bellman-Zade principle. This allows you to significantly reduce the time to solve optimization problems and get Pareto - optimal solutions for managing the quality of communication services. Intelligent agents can implement management solutions in automatic mode, provided that the network administrator delegates such capabilities to them.

Keywords: corporate multiservice network, hierarchical fuzzy situational network, intelligent agent, fuzzy logical output, fuzzy mathematical programming, operation of communication systems in water transport.

For citation:

Karetnikov, Vladimir V., Nina S. Ageeva, and Andrey A. Privalov. "Decision support principles for managing the quality of services in the corporate multiservice network of inland waterway Basin Administrations." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.5 (2020): 840–852. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-5-840-852.

УДК 681.142.33.681.14

ПРИНЦИПЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ УСЛУГ В КОРПОРАТИВНОЙ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ БАССЕЙНОВЫХ АДМИНИСТРАЦИЙ ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЕЙ

В. В. Каретников¹, Н. С. Агеева², А. А. Привалов³

¹ — ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

² — Военная академия связи, Санкт-Петербург, Российская Федерация

³ — ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Разработаны предложения по модификации методов оперативной поддержки принятия решений для управления качеством услуг корпоративной мультисервисной сети связи Федерального бюджетного учреждения «Администрация «Волго-Балт» — мультисервисной сети, созданной на основе системотехнических принципов связи нового поколения (Next Generation Network). Подобные сети имеют единую иерархическую автоматизированную систему управления, задачей которой является обеспечение как устойчивого функционирования органов административного управления Федерального бюджетного учреждения «Администрация «Волго-Балт» различных уровней административной иерархии, так и технологического управления автоматизированными техническими средствами, необходимыми для безопасного судовождения. Особенности сети связи Федерального бюджетного учреждения «Администрация «Волго-Балт» являются большой пространственный размах и разнородный контингент абонентов, которым необходимо предоставить различные услуги связи с заданными характеристиками. Подчеркивается, что автоматизированная система управления сетью в этих условиях функционирования должна поддерживать необходимое качество услуг связи. Таким образом, актуальность работы определяется объективной необходимостью управления сетью в режиме реального времени с требуемым качеством в условиях динамичного изменения параметров функционирования и состояния сетевых элементов. Отмечается, что основой предложенных принципов поддержки принятия управленческих решений являются принципы концепции интеллектуальных агентов. В разработанном в исследовании подходе интеллектуальные агенты функционально представляют собой иерархические нечеткие ситуационные сети, в которых решения, в отличие от методов, основанных на применении эталонных ситуаций, вырабатываются по результатам иерархической системы оптимизационных задач с использованием методов нечеткого математического программирования. В работе координация и согласование решений системы оптимизационных задач выполнены на основе принципа Беллмана – Заде, что позволяет существенно снизить время решения оптимизационных задач и получить Парето-оптимальные решения по управлению качеством услуг связи. Интеллектуальные агенты могут реализовывать управленческие решения в автоматическом режиме при условии делегирования им соответствующих полномочий администратором сети.

Ключевые слова: корпоративная мультисервисная сеть, иерархическая нечеткая ситуационная сеть, интеллектуальный агент, нечеткий логический вывод, нечеткое математическое программирование, эксплуатация систем связи на водном транспорте.

Для цитирования:

Каретников В. В. Принципы поддержки принятия решений для управления качеством услуг в корпоративной мультисервисной сети бассейновых администраций внутренних водных путей / В. В. Каретников, Н. С. Агеева, А. А. Привалов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 5. — С. 840–852. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-5-840-852.

Введение (Introduction)

В настоящее время эксплуатация внутренних водных путей (ВВП) Российской Федерации для обеспечения высокого уровня безопасности судоходства осуществляется пятнадцатью администрациями бассейнов (АБ). В качестве основных задач АБ ВВП, независимо от специфики обслуживаемой акватории ВВП, можно выделить следующие: эксплуатация и развитие водных путей и гидротехнических сооружений, обеспечение безопасности судоходства, а также диспетчерское регулирование движения судов и обеспечение лоцманской проводки судов. Для решения указанных АБ обладают весьма развитой инфраструктурой, включающей средства оперативной радиосвязи, автоматизированные системы управления, автоматические идентификационные системы, системы дифференциальной коррекции местоположения и др. Однако перспективы развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации в сочетании с необходимостью цифровизации отрасли требуют повышения скорости, надежности и оперативности передачи данных в эксплуатируемых в настоящее время сетях связи. Одним из конструктивных решений в данном случае может считаться внедрение корпоративных мультисервисных сетей связи и передачи данных. Организация таких сетей в полной мере укладывается в концепцию создания на ВВП Российской Федерации инфокоммуникационных иерархических триад типа: корпоративная речная информационная система – речная информационная служба – автоматизированная система управления движением судов: «КРИС – РИС – АСУ ДС».

Рассмотрим основные принципы поддержки принятия решений для управления качеством услуг в корпоративной мультисервисной сети на примере Федерального бюджетного учреждения

«Администрация «Волго-Балт» (ФБУ «Администрация «Волго-Балт»), обеспечивающего диспетчерское управление судоходством, которое включает устойчивое непрерывное управление распределенными системами радиосредств, системами радиотехнических средств, береговыми системами мониторинга данных судопотока и системами обеспечения безопасности судоходства. Для обеспечения производственной деятельности в ФБУ «Администрация «Волго-Балт» внедрена автоматизированная система управления производством (АСУП), которая в том числе применяется для реализации организационно-технического управления филиалами и имеет возможность обеспечивать взаимодействие с другими отраслевыми организациями. Следовательно, корпоративную мультисервисную сеть связи администрации Волго-Балтийского бассейна (КМСС ВБ) можно отнести к классу *критических инфраструктур*.

Основными особенностями КМСС ВБ являются значительный пространственный размах, большое количество разнородных абонентов, которым необходимы услуги связи с заданными характеристиками в различных условиях эксплуатации этой сети. В процессе эксплуатации КМСС ВБ возможны динамичные случайные изменения как топологии КМСС ВБ, так и состава ее технических средств, добавления или исключения из сети различного числа абонентов. Кроме того, КМСС ВБ должна иметь возможность взаимодействия и связи с другими КМСС (например, с сетями других операторов связи или учреждений). Сложность информационно-логической и физической архитектур КМСС ВБ, ее гетерогенность, необходимость анализа большого количества различных сетевых характеристик и параметров, многомерность, стохастичность и нелинейность протекающих в ней физических и информационных процессов являются причинами объективных трудностей принятия рациональных управленческих решений автоматизированной системой управления КМСС ВБ (АСУС) по поддержанию ее характеристик в оптимальном состоянии, в том числе и по поддержанию необходимого качества услуг связи (QoS — Quality of Service) [1].

Следует отметить, что КМСС ВБ представляет собой большую распределенную и сложную систему. Особенности КМСС ВБ вызывают большие трудности в применении концепций и методов оперативного управления КМСС ВБ, основанных на использовании моделей объекта управления, а также методов, базирующихся на применении различных статистических методов [2], [3]. Это обстоятельство привело к необходимости применения для решения задач управления КМСС ВБ интеллектуальных методов, основанных, например, на применении и реализации концепции интеллектуальных агентов (ИА) [4], техническая реализация которых позволяет сократить время цикла управления. Вместе с тем для технической реализации концепции ИА необходимо разработать устойчивые к изменению в широких пределах сетевых характеристик и простых в реализации алгоритмов оценки функционального и технического состояния сетевых элементов, функционирующих качественно в режиме реального времени. Таким образом, актуальность работы определяется необходимостью реализации процессов оперативного управления сетью, в том числе оперативным управлением характеристиками QoS, в режиме, близком к режиму реального времени с заданным качеством, в условиях динамичного изменения параметров функционирования и состояния сетевых элементов (СЭ).

Методы и материалы (Methods and Materials)

Технически КМСС ВБ реализована как пакетная мультисервисная сеть связи, созданная и функционирующая на основе стека протоколов TCP/IP/MPLS. КМСС ВБ создается и функционирует на основе единых системотехнических принципов функционирования и управления как единая сеть. Пространственно-географическое расположение основных абонентов КМСС ВБ показано на рис. 1.

В основе архитектурных решений по построению и функционированию КМСС ВБ концептуальные принципы создания сетей Next Generation Network (NGN — сети связи следующего поколения) и концептуальные принципы IP Multimedia Subsystem (IMS), основными из которых являются [2], [5], [6]:

– интеграция в существующую учрежденческую сеть связи, при необходимости в Единую систему электросвязи Российской Федерации (ЕСЭ РФ), обеспечение поддержки новых транспортных технологий и привычных моделей управления сетью;

- модульность архитектурного построения;
- повышение производительности за счет добавления в систему дополнительных серверов;
- реализация единой автоматизированной системы управления услугами связи с заданным качеством (QoS);
- возможность взаимодействия с сетями различного типа;
- обеспечение масштабируемости КМСС ВБ.



Рис. 1. Пространственно-географическое расположение абонентов КМСС ВБ

КМСС ВБ состоит из совокупности локальных вычислительных сетей пользователей (LAN), объединенных в единую систему глобальные сети связи (WAN). Технической основой КМСС ВБ является функционально структурированная совокупность узлов коммутации пакетов (маршрутизаторов), скоростных каналов связи, серверов услуг и сервисов и автоматизированной системы управления связью (АСУС). Обобщенная функциональная структура КМСС ВБ приведена на рис. 2.

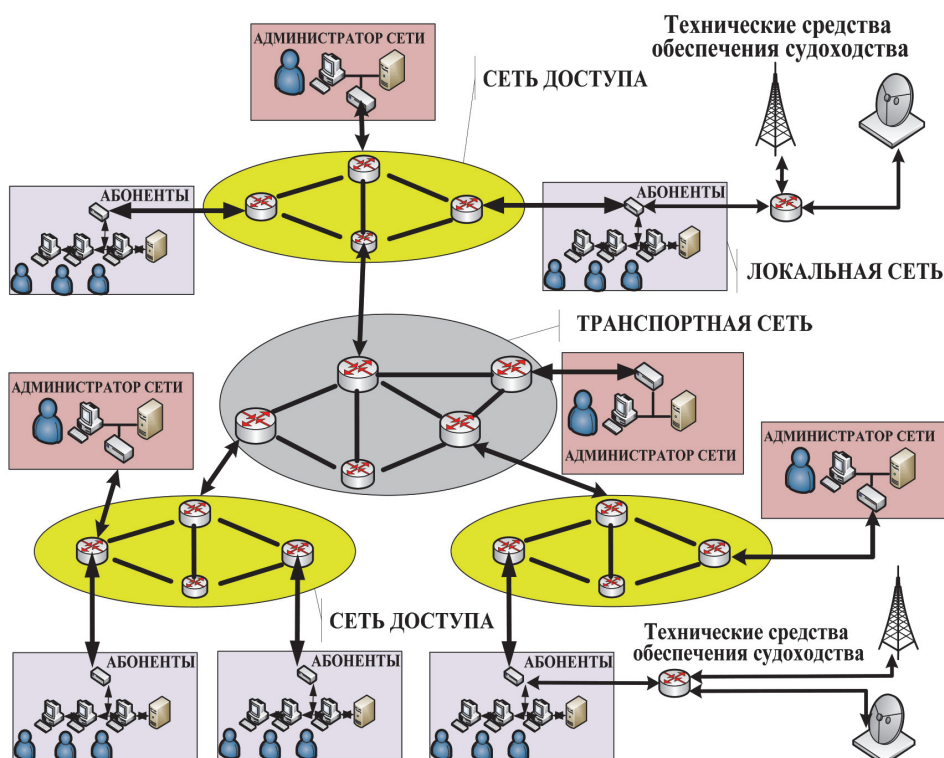


Рис. 2. Обобщенная функциональная структура КМСС ВБ

Основными услугами связи, предоставляемыми КМСС ВБ пользователям, являются услуги *мягкого реального времени* (файловый обмен, электронная почта), различные услуги *жесткого реального времени* (IP-телефония, мультимедийные конференции, передача различного рода управляющей информации и сигналов оповещения). К основным услугам связи следует также отнести передачу различного рода управляющей информации, предназначенной для обеспечения устойчивого и непрерывного управления распределенными системами радиосредств, системами радиотехнических средств, береговыми системами мониторинга данных судопотока и системами обеспечения безопасности судоходства. К основной услуге связи также следует отнести защиту циркулирующей в сети информации [4].

Качество обслуживания определяется рекомендациями ITU – T.Y.1540 и Y.1541 [6], [7]. К основным сетевым характеристикам, оказывающим влияние на качество услуг связи, относятся:

- техническое состояние сети и отдельных ее элементов;
- вероятности потери передаваемых IP-пакетов;
- пропускная способность сети или пропускные способности отдельных каналов связи, бит/с;
- время задержки передачи пакетов;
- вариация времени задержки передачи пакетов.

В рекомендациях ITU – T.Y.1221 указаны сетевые параметры, определяющие для различных приложений необходимые пропускные способности [8].

Требуемый уровень QoS в КМСС ВБ, как и в сетях категории NGN, обеспечивается с помощью использования следующих основных способов [2], [9]:

1. В плоскости управления применяются механизмы управления доступом, резервирования ресурсов (например, применением протокола RSVP), QoS-маршрутизации.

2. В плоскости данных применяются механизмы управления буферами маршрутизаторов, прогнозирования, предотвращения и управления перегрузками трафика, маркировки пакетов, планирования и управления очередями, механизмы анализа и классификации трафика.

3. В плоскости менеджмента применяются механизмы сетевых измерений, а также обеспечения и контроля выполнения соглашений уровня QoS-SLA (Service Level Agreement).

Управление QoS в КМСС ВБ выполняется АСУС. АСУС КМСС ВБ создается и функционирует на основе концепции иерархического сетевого управления, определяемой моделью Telecommunication Management Network (TMN) [2], [10].

Процесс принятия рациональных решений по управлению QoS КМСС ВБ представляет собой выбор рациональной альтернативы из множества возможных. При этом данный процесс является задачей многокритериальной оптимизации [3], [11], [12]. Решаемые задачи имеют различный уровень иерархии сетевого управления в модели TMN. Задачи нижних уровней иерархии могут иметь противоречивые критерии оптимизации. Следовательно, необходимо проводить процедуры координации и согласования как критериев решаемых задач, так и полученных решений [11]–[13].

Основным принципом функционирования ИА является принцип *ситуация – действие* [11], [13], [14], реализуемый с использованием нечетких методов и моделей. Суть данного принципа заключается в анализе и автоматическом регулировании модели процесса управления КМСС ВБ. Основные методы и алгоритмы, применяемые для решения подобных задач, рассмотрены, например, в источнике [15].

В данной работе предложено построение и использование иерархических нечетких ситуационных сетей на основе *метода нечеткого логического вывода Мамдани* [16], [17]. В данном случае управленческие решения, в отличие от методов, использующих эталонные ситуации, вырабатываются как результат решения иерархической упорядоченной совокупности оптимизационных задач на основе *методов нечеткого математического программирования* [14], [18], [19]. Координация и согласование решений, а также систем ограничений набора оптимизационных задач выполняются на основе *принципа Беллмана – Заде* [14], [15], [18]. Результаты проведенного анализа основных задач, решаемых при обеспечении заданных уровней QoS в КМСС ВБ, позволили составить их структуру иерархического взаимодействия, приведенную на рис. 3.

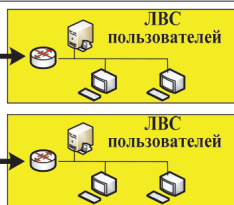


Рис. 3. Структура иерархического взаимодействия задач по управлению QoS КМСС ВБ

Решения задач оперативной поддержки принятия решений по управлению QoS производятся в подсистеме оперативной поддержки принятия решений (ПОППР), которая является функциональной подсистемой АСУС КМСС ВБ. Реализация полученных решений выполняется с помощью подсистем поддержки операций (OSS). Основными задачами, результаты решений которых оказывают влияние на процесс управления QoS, являются: управление сетевыми ресурсами, управление текущим техническим состоянием сети и ее СЭ, управление сетевой и информационной безопасностью (СИБ) [4].

Реализацию предложенного подхода предлагается выполнять на основе базовой функциональной структуры ИА (БФС ИА), которая приведена на рис. 4.



Рис. 4. Базовая функциональная структура ИА КМСС ВБ

В БФС ИА состоит из модуля оценки нечеткой ситуации состояния СЭ, состоящего из иерархической совокупности машин нечеткого логического вывода Мамдани для каждой функциональной группы СЭ, а также модуля формирования решений, состоящего из блоков формирования и выработки решений информационно-расчетных задач. В случае, если администратор сети предоставляет ИА возможность реализации принятого решения через систему управления СЭ, то цикл управления будет реализовываться в автоматическом режиме. В этом случае ИА только уведомляет администратора о реализованных решениях по управлению СЭ или сетевого домена в целом [11], [14].

Рассмотрим кратко принцип функционирования ИА. Пусть $X = \{x_{f1}, x_{f2}, \dots, x_{fm}\}$ — множество признаков, характеризующих состояние функциональной группы СЭ (например, параметры трафика на интерфейсах маршрутизатора или параметры его текущего технического состояния) [4], [11].

Пусть признаки $x_{fi}, i = \overline{1, m}$, характеризующие состояние выбранной функциональной группы СЭ, описываются лингвистическими переменными:

$$x_{fi}, T_i, U_i, \quad (1)$$

где $T_i = \{T_1^i, T_2^i, \dots, T_m^i\}$ — терм-множества лингвистических переменных; U_i — базовое множество признака x_{fi} ; m — число нечетких значений признака x_{fi} .

Термы $T_j^i (i = \overline{1, m}, j = \overline{1, k})$ определяются с помощью нечетких множеств A_{ij} , рассчитываемых с помощью значений функций принадлежности $\mu_{A_{ij}}(x_{fi})$ в базовых множествах $x_{fi} \in U_i$:

$$A_{ij} = \left\{ \left(\mu_{A_{ij}}(x_{fi}) / x_{fi} \right) \right\}, \quad x_{fi} \in U_i. \quad (2)$$

В этом случае оценка нечеткой ситуации состояния СЭ ИА может быть представлена как результат, полученный на выходе иерархической системы машин нечеткого логического вывода Мамдани, в виде нечеткого множества второго уровня [14], [21]:

$$S_{\text{об } f} = \left\{ S_f(x_{fi}) / x_{fi} \right\}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (3)$$

$$\text{где } S_f(x_{fi}) = \left\{ \left(\mu_{A_{ij}}(x_{fi}) / T_j^i \right) \right\}, \quad j = \overline{1, k}.$$

Например, нечеткая ситуация состояние СЭ, при заданных значениях функциональных признаков «Техническое состояние СЭ (ТС СЭ)», «Состояние трафика (TR)» может быть представлено в виде нечеткой ситуации, имеющей вид:

$$S_{\text{общ}} = \left\{ S_{\text{об } f1} = \frac{0,9}{\text{ТС СЭ : «нормальное»}}; S_{\text{об } f2} = \frac{0,75}{\text{TR : «допустимое»}} \right\}. \quad (4)$$

Значение общей нечеткой ситуации состояния СЭ будет иметь вид: $S_{\text{общ}} = \text{«допустимое»}$. При этом, в свою очередь, значения частных нечетких ситуаций состояния СЭ могут иметь вид:

$$S_{\text{об } f1} = \left\{ \frac{0,9}{\text{ПО СЭ : «нормальное»}}, \frac{0,83}{\text{АПС СЭ : «нормальное»}}, \frac{0,75}{\text{ИНТЕРФЕЙСЫ СЭ : «нормальное»}} \right\}. \quad (5)$$

где ПО СЭ — программное обеспечение СЭ; АПС СЭ — аппаратные средства СЭ. Нечеткая ситуация «Состояние трафика (TR)» может описываться в виде

$$S_{\text{об } f2} = \left\{ \frac{0,9}{\hat{m}(i) : \text{«нормальное»}}, \frac{0,83}{\hat{\sigma}(i) : \text{«допустимое»}}, \frac{0,75}{\hat{k}_v(i) : \text{«допустимое»}} \right\}. \quad (6)$$

где $\hat{m}(i)$, $\hat{\sigma}(i)$, $\hat{k}_v(i)$ — текущие значения оценок математического ожидания интенсивности трафика на выбранном интерфейсе СЭ, среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации со-

ответственно. Состояния каждой функциональной группы характеризуются термами: «нормальное», «допустимое», «недопустимое».

Таким образом, на входы модуля оценки нечеткой ситуации состояния СЭ поступает совокупность признаков $\{x_{ij}\}$ каждой контролируемой функциональной группы. Состояния функциональных групп определяют техническое и функциональное состояния СЭ. На выходе иерархического слоя формируется упорядоченный набор оценок нечетких ситуаций $\{S_f(i)\}$ состояния СЭ для каждой функциональной группы. Процедура агрегирования полученных оценок происходит на следующем уровне иерархии нечеткой ситуационной сети [14]. В представленной структуре БФС ИА число иерархических уровней определяется в соответствии с решением конкретной задачи при проектировании ИА.

Обобщенную математическую модель управления КМСС ВБ можно представить в виде [11], [12], [15]:

$$Z = \bigcup_{i \neq j}^N f_{ij}(\varphi_{ij}(X_{ij}, U_{ij})), \quad (7)$$

где $X_{ij} = \{x_{ij} / \mu(x_{ij})\}$ — множество нечетких признаков состояния j -го уровня управления КМСС ВБ; $U_{ij} = \{u_{ij} / \mu(u_{ij})\}$ — нечеткие управляющие воздействия j -го уровня управления; φ_{ij} — оператор агрегирования информации сетевого состояния или состояния СЭ; f_{ij} — оператор оптимизации i -го уровня управления; $Z_{ij} = \{z_{ij}\}$ — множество целевых функций определенного уровня управления [11, 12].

Для каждого уровня модель управления КМСС ВБ Z может быть представлена либо как совокупность критериев оптимизации, либо как совокупность их сверток [12]. Реализуемый БФС ИА оператор управления представляет собой совокупность процедур решений набора оптимизационных задач [12], [19]. Для получения решения необходимо найти рациональное значение вектора целевой функции, когда коэффициенты критериев оптимальности, а также граничные значения всех или некоторых векторов ограничений заданы нечеткими множествами. Постановка такой задачи в общем виде может быть представлена [12], [19] в следующем виде:

$$\bar{Z}_r(X^*) = \text{extr} \bar{Z}_r(X), \quad r = \overline{1, R}, \quad (8)$$

при ограничениях

$$W = \{X / H_{kj} \leq x_j, \dots, j = \overline{1, n}, k = \overline{1, m}\}. \quad (9)$$

Постановка задачи многокритериальной нечеткой оптимизации в общем виде может иметь следующий вид. Альтернативе Alt_k ставится в соответствие некоторое множество C_r , определяющее степень эффективности как для каждой из целевых функций, так и для всего множества критериев оптимальности в данной альтернативе. Каждое множество C_r может быть задано своей функцией принадлежности в виде [12]:

$$\mu_i[f_i(C_r / Alt_k)] := f_i(C_r / Alt_k) \rightarrow [0, 1]. \quad (10)$$

Критерием решения задач нечеткой многокритериальной оптимизации выбирается критерий Беллмана – Заде [11], [12], [18], суть которого заключается в том, что если в модели принятия решений существуют множества значений векторов локальных целевых функций $Z = F(X)$ и решений G , то эффективным решением (например, Парето-оптимальным решением) D является нечеткое множество, которое принадлежит пересечению этих двух множеств, т. е.

$$D \in \left(\bigcap_{i=1}^n Z_i \right) \cap \left(\bigcap_{j=1}^m G_j \right). \quad (11)$$

Тогда альтернатива, удовлетворяющая условию:

$$\mu_i[F(C_r / Alt^*)] = \text{extr} \mu_D[F / Alt_r], \quad (12)$$

является оптимальным решением оптимизационной задачи.

Общая структура алгоритма, реализующего предложенные принципы поддержки принятия решений для управления QoS в КМСС ВБ, приведена на рис. 5.

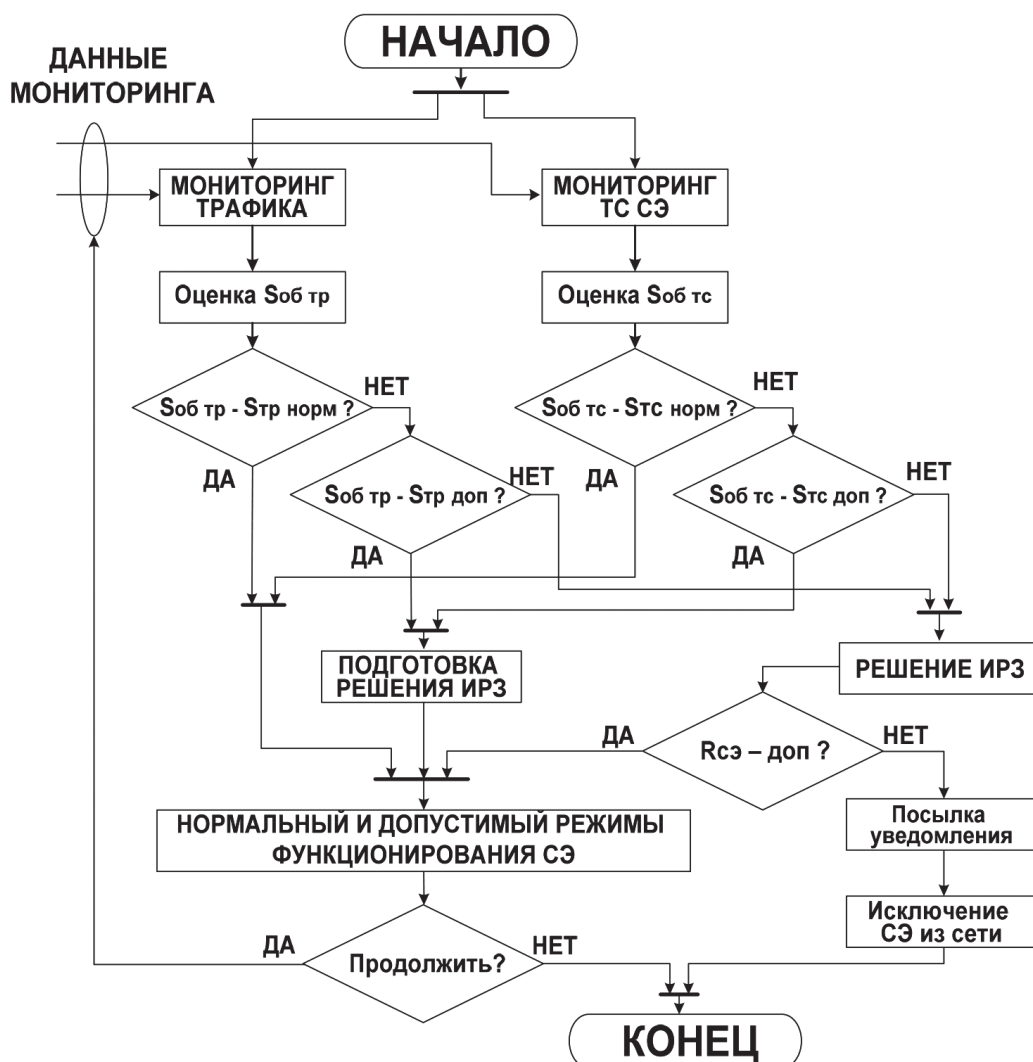


Рис. 5. Структура алгоритма поддержки принятия решений для управления QoS в КМСС ВБ:

$S_{об\ TC}$ — нечеткая ситуация состояния трафика СЭ;
 $S_{об\ TC}$ — нечеткая ситуация технического состояния СЭ; $R_{сэ}$ — ресурс СЭ

Результаты (Results)

В численном эксперименте оценивались характеристики и параметры СЭ с помощью ИА, оказывающие влияние на характеристики QoS. В качестве примера на рис. 6 представлены функции принадлежности системы нечеткого вывода для оценки состояния электрических параметров СЭ функциональной группы «Аппаратные средства СЭ». Анализ требуемой производительности процессорного модуля ИА показал, что для оценки параметров QoS одного СЭ достаточно иметь его производительность, равную 1,8–2,2 Гфл. В этом случае время принятия управленческого решения по управлению QoS СЭ составит приблизительно $15\text{--}70 \times 10^{-6}$ с (15–70 мкс), что является достаточным значением для управления СЭ в реальном масштабе времени. Точностные характеристики алгоритма оценки состояния СЭ определяются характеристиками первичных сенсоров. Все выполненные эксперименты численного моделирования показали высокую устойчивость функционирования модуля оценки нечеткой ситуации. Недостоверных и ошибочных оценок в ходе эксперимента зафиксировано не было.

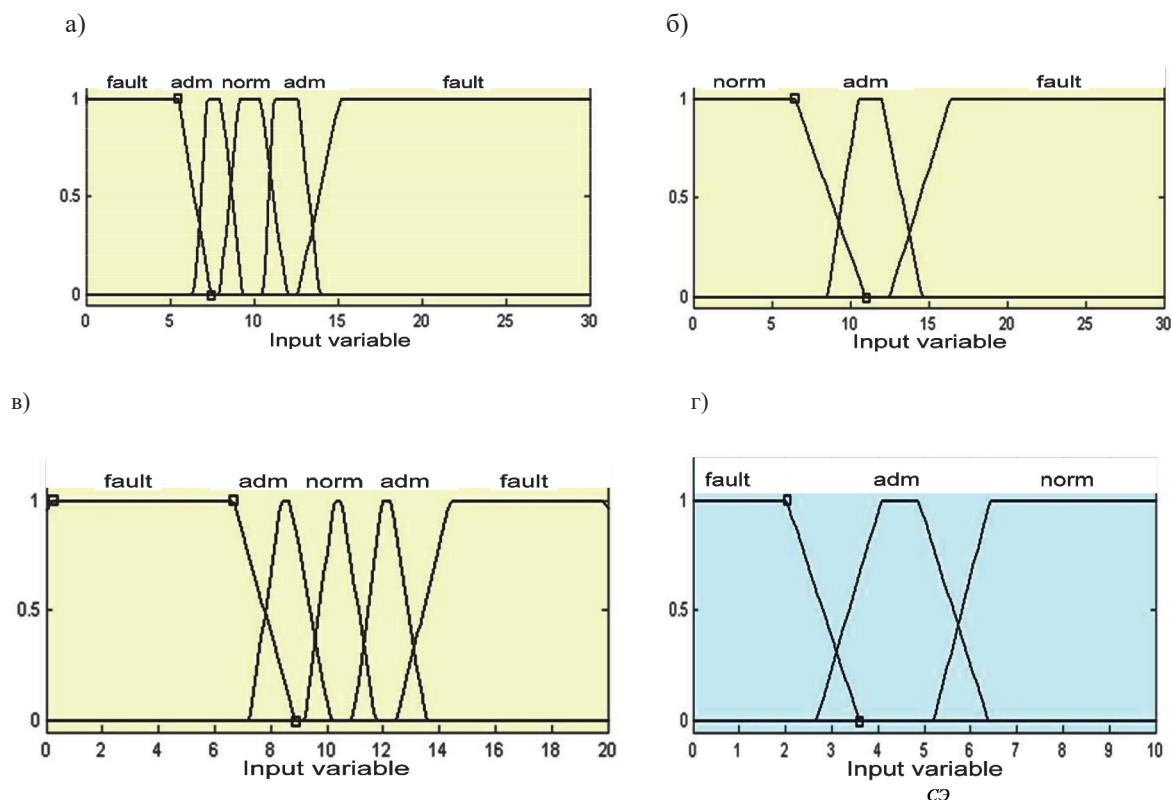


Рис. 6. Входные и выходные функции принадлежности ИА электрических параметров:
а — ФП параметра «электропитание»; б — ФП параметра «затухание»;
в — ФП параметра «сопротивление интерфейсов»; г — ФП значения нечеткой ситуации $S_{\text{АПС СЭ}}$

Точностные характеристики алгоритмов оценки параметров интенсивности трафика подробно исследованы в работе [20]. Показано, что средняя относительная погрешность оценки параметров трафика КМСС ВБ для интенсивности трафика, имеющей распределение Парето, не превышает 9,6 %, в остальных случаях эта погрешность не превосходит 5–7 %.

Заключение (Conclusion)

Полученные в работе результаты численного моделирования алгоритмов оперативного оценивания состояния СЭ для обеспечения требуемого уровня QoS в КМСС ВБ показали возможность его функционирования в режиме реального времени. Абсолютная задержка принятия решения составляет не более нескольких десятков микросекунд. Относительные погрешности значений оценок параметров технического и функционального состояний СЭ и параметров сетевого трафика, оказывающих влияние на уровень QoS, по величине не превосходят значения 10 %. Эти показатели позволяют реализовать оперативное управление СЭ и сетевым доменом в целом.

Метод и алгоритмы оперативного управления параметрами QoS, предложенные в работе, могут функционировать в моделях интегрированных и дифференцированных услуг обеспечения качества услуг связи в КМСС ВБ.

Достоинством предложенного подхода является то, что ИА КМСС ВБ адаптируются к сетевой структуре и топологии, адаптивно подстраиваясь к изменениям в конфигурации сетевого оборудования. ИА распределены по всем СЭ в сетевых доменах КМСС ВБ, что позволяет рационально разместить вычислительные ресурсы, а также существенно повысить надежность функционирования АСУС.

Выполненный анализ полученных результатов показал возможность реализации данного метода как на универсальных процессорах в виде специального программного обеспечения, так и на основе технологии FPGA в виде аппаратно-программных средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ITU-T Recommendation G.1000. Communications quality of service: A framework and definitions. — Switzerland, Geneva: ITU, 2002. — 10 p.
2. Назаров А. Н. Модели и методы расчета показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения / А. Н. Назаров, К. И. Сычев. — Красноярск: Изд-во ООО «Поликом», 2010. — 389 с.
3. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика / Д. А. Поспелов. — М: Наука, 1986. — 288 с.
4. Агеев С. А. Интеллектуальная распределенная система управления рисками информационной безопасности в защищенных мультисервисных сетях специального назначения / С. А. Агеев // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. — 2015. — № 3. — С. 26–37.
5. ITU-T Recommendation Y.2001. General overview of NGN. — Switzerland, Geneva: ITU, 2005. — 12 p.
6. ITU-T Recommendation Y.1540 (03/2011). Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters. — Switzerland, Geneva: ITU, 2011. — 46 p.
7. ITU-T Recommendation Y.1541 (12/2011). Network performance objectives for IP – based services. — Switzerland, Geneva: ITU, 2012. — 60 p.
8. ITU-T Recommendation Y.1221 (06/2010). Traffic control and congestion control in IP – based networks. — Switzerland, Geneva: ITU, 2010. — 34 p.
9. Maeda Y. QoS standards for ip-based networks / Y. Maeda // IEEE Communications Magazine. — 2003. — Vol. 41. — Is. 6. — Pp. 80–80. DOI: 10.1109/MCOM.2003.1204751.
10. ITU-T Recommendation M.3010 (02/2000). Principles for a telecommunications management network. — Switzerland, Geneva: ITU, 2000. — 38 p.
11. Агеев С. А. Метод оперативного оценивания состояния сетевых элементов для обеспечения качества услуг в корпоративных высокоскоростных мультисервисных сетях связи / С. А. Агеев, Н. С. Агеева, В. В. Каретников, А. А. Привалов // Автоматизация процессов управления. — 2020. — № 2 (60). — С. 25–35. DOI: 10.35752/1991-2927-2020-2-60-25-35.
12. Зак Ю. А. Принятие многокритериальных решений / Ю. А. Зак. — М.: Экономика, 2011. — 236 с.
13. Мелихов А. Н. Ситуационно-советующие системы с нечеткой логикой / А. Н. Мелихов, Л. С. Бернштейн, С. Н. Коровин. — М: Наука, 1990. — 272 с.
14. Ageev S. A. Method of monitoring of technical condition of multiservice communication network on the basis of hierarchical fuzzy inference / S. A. Ageev, A. A. Gladkikh, D. V. Mishin, A. A. Privalov // Fuzzy Technologies in the Industry — FTI 2018 Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference. — Ulyanovsk: USTU, 2018. — Pp. 211–221.
15. Борисов В. В. Нечеткие модели и сети / В. В. Борисов, В. В. Круглов, А. С. Федулов. — 2-е издание, стереотипное. — М.: горячая линия – Телеком, 2012. — 284 с.
16. Mamdani E. H. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller / E. H. Mamdani, S. Assilian // International journal of man-machine studies. — 1975. — Vol. 7. — Is. 1. — Pp. 1–13. DOI: 10.1016/S0020-7373(75)80002-2.
17. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление: пер. с англ. / А. Пегат. — М.: БИНОМ Лаборатория знаний, 2013. — 798 с.
18. Беллман Р. Принятие решений в расплывчатых условиях / Р. Беллман, Л. Заде // В сб.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений. — М: Мир, 1976. — С. 172–215.
19. Зайченко Ю. П. Исследование операций: Нечеткая оптимизация / Ю. П. Зайченко. — К.: Выща. шк., 1991. — 191 с.
20. Агеев С. А. Адаптивный метод обнаружений аномалий трафика в высокоскоростных мультисервисных сетях связи / С. А. Агеев, А. А. Гладких, В. И. Курносков, А. А. Привалов // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. — 2019. — Т. 11. — № 5. — С. 4–13. DOI: 10.24411/2409-5419-2018-10282.

REFERENCES

1. ITU-T Recommendation G.1000. Communications quality of service: A framework and definitions. Switzerland, Geneva: ITU, 2002.

2. Nazarov, A. N., and K. I. Sychev. *Modeli i metody rascheta pokazatelei kachestva funktsionirovaniya uzlovogo oborudovaniya i strukturno-setevykh parametrov setei svyazi sleduyushchego pokoleniya*. Krasnoyarsk: Izd-vo OOO «Polikom», 2010.
3. Pospelov, D. A. *Situatsionnoe upravlenie: teoriya i praktika*. M: Nauka, 1986.
4. Ageev, S. A. “Intelligent distributed information security risk management system for protected multiservice networks of a special purpose.” *Information Security Problems. Computer Systems* 3 (2015): 26–37.
5. *ITU-T Recommendation Y.2001. General overview of NGN*. Switzerland, Geneva: ITU, 2005.
6. *ITU-T Recommendation Y.1540 (03/2011). Internet protocol data communication service — IP packet transfer and availability performance parameters*. Switzerland, Geneva: ITU, 2011.
7. *ITU-T Recommendation Y.1541 (12/2011). Network performance objectives for IP-based services*. Switzerland, Geneva: ITU, 2012.
8. *ITU-T Recommendation Y.1221 (06/2010). Traffic control and congestion control in IP-based networks*. Switzerland, Geneva: ITU, 2010.
9. Maeda, Yoichi. “QoS standards for ip-based networks.” *IEEE Communications Magazine* 41.6 (2003): 80–80. DOI: 10.1109/MCOM.2003.1204751.
10. *ITU-T Recommendation M.3010 (02/2000). Principles for a telecommunications management network*. Switzerland, Geneva: ITU, 2000.
11. Ageev, Sergei Aleksandrovich, Nina Sergeevna Ageeva, Vladimir Vladimirovich Karetnikov, and Andrei Andreevich Privalov. “The real-time assessing method for the state of network elements to provide for quality parameters in corporate high-speed multiservice communication networks.” *Automation of Control Processes* 2(60) (2020): 25–35.
12. Zak, Yu. A. *Prinyatie mnogokriterial'nykh reshenii*. M.: Ekonomika, 2011.
13. Melikhov, A. N., L. S. Bernshtein, and S.N. Korovin. *Situatsionno-sovetuyushchie sistemy s nechetkoi logikoi*. M: Nauka, 1990.
14. Ageev, S. A., A. A. Gladkikh, D. V. Mishin, and A.A. Privalov. “Method of monitoring of technical condition of multiservice communication network on the basis of hierarchical fuzzy inference.” *Fuzzy Technologies in the Industry — FTI 2018 Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference*. Ulyanovsk: USTU, 2018. 211–221.
15. Borisov, V. V., V. V. Kruglov, and A. S. Fedulov. *Nechetkie modeli i seti*. 2nd edition. M.: Goryachaya Liniya – Telekom, 2012.
16. Mamdani, Ebrahim H., and Sedrak Assilian. “An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller.” *International journal of man-machine studies* 7.1 (1975): 1–13. DOI: 10.1016/S0020-7373(75)80002-2.
17. Pegat, A. *Nechetkoe modelirovanie i upravlenie*. M.: BINOM Laboratoriya znaniy, 2013.
18. Bellman, R., and L. Zade. “Prinyatie reshenii v rasplyvchatykh usloviyakh.” *Voprosy analiza i protsedury prinyatiya reshenii*. M: Mir, 1976. 172–215.
19. Zaichenko, Yu. P. *Issledovanie operatsii: Nechetkaya optimizatsiya: Uchebn. posobie*. K.: Vyshcha. shk., 1991.
20. Ageev, S. A., A. A. Gladkikh, V. I. Kurnosov, and A. A. Privalov. “Adaptive method of detecting traffic anomalies in high-speed multiservice communication networks.” *H&ES Research* 11.5 (2019): 4–13.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Каретников Владимир Владимирович —
доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: kaf_svpv@gumrf.ru,
spguwc-karetnikov@yandex.ru
Агеева Нина Сергеевна —
научный сотрудник
Военная академия связи
194064, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
Тихорецкий проспект, 3
e-mail: nine1lia@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Karetnikov, Vladimir V. —
Dr. of Technical Sciences, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: kaf_svpv@gumrf.ru,
spguwc-karetnikov@yandex.ru
Ageeva, Nina S. —
Researcher
Military Telecommunications Academy
3 Tikhoretsky Av., St. Petersburg, 194064, Russian
Federation
e-mail: nine1lia@yandex.ru

Привалов Андрей Андреевич —
доктор военных наук, профессор
ФГБОУ ВО «Петербургский государственный
университет путей сообщения Императора
Александра I»
190031, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
Московский пр., 9
e-mail: apivalov@inbox.ru

Privalov, Andrey A. —
Dr. of Military Sciences, professor
Emperor Alexander I
St. Petersburg State
Transport University
9 Moskovsky Av., St. Petersburg, 190031,
Russian Federation
e-mail: apivalov@inbox.ru

*Статья поступила в редакцию 6 сентября 2020 г.
Received: September 6, 2020.*